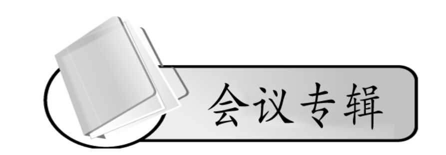


测度技术融合与趋势的数据分析方法研究进展*

李姝影　方　曙
(中国科学院成都文献情报中心　成都 610041)

摘要:【目的】对技术会聚/融合相关研究进行较系统的梳理,期望能够展示该领域的研究进展,为后续研究提供参考。【文献范围】从 Web of Science(WOS)、CNKI 等数据库中分别以"技术会聚(Technology Convergence)"、"技术融合(Technology Fusion)"等检索词搜集获得中英文相关文献 73 篇。【方法】针对技术融合相关概念及内涵、测度技术融合程度与趋势的数据分析方法进行较系统的文献提炼与评析。【结果】近年来有关技术融合的研究越来越丰富;基于专利数据的技术融合分析方法主要包括评估技术融合度的指标、专利引文网络分析方法探索技术融合演化路径、专利共类识别技术融合轨道等。【局限】混合方法的横向对比研究较少。【结论】已有分析方法尚不完善,测度技术融合的数据分析方法优化拓展的潜力巨大,未来具有较大的研究发展空间。

关键词: 技术融合　技术会聚　专利分析
分类号: G306.0

1　引　言

当今世界科学技术飞跃发展,学科交叉、技术融合、产业会聚成为创新发展的主流现象。随着技术之间的界限越来越模糊,重大技术发现不再是单一领域的产物,而是跨领域存在[1]。技术融合是新兴产业形成与发展的源泉。研究技术融合的结构、动态趋势,识别技术融合的发展轨迹,对于洞察未来机会、规划研发活动、推动技术创新、引导新兴产业的形成与发展等具有重要的理论价值与实践意义。国内外学者对此进行了大量研究,取得了不少成果,本文对现有研究进行较系统的梳理,期望能够展示该领域的研究进展,以为相关研究提供参考。

2　技术融合相关概念及内涵

20 世纪 80、90 年代,机器人、计算机、信息和通讯等 ICT 技术呈现交叉融合,技术开始在多个产业对企业的产品和战略产生巨大影响,技术会聚/融合逐渐受到学者们的关注[1],多个不同技术领域的知识扩散与产业间的融合成为研究热点[2]。技术会聚/融合相关概念涉及技术会聚(Technology Convergence)、技术融合(Technology Fusion)、技术兼并(Technology Merging)、技术交叉渗透(Technology Cross-Fertilization)以及技术杂交(Technology Hybridization)[3]。它们具有大致相同的内涵,但学者更常使用的是技术会聚和技术融合。技术会聚一词最早出现在 Rosenberg[4]有关机器工

通讯作者:方曙,ORCID:0000-0003-4584-7574,E-mail:fangsh@clas.ac.cn。

*本文系 ISTIC-THOMSON 科学计量学联合实验室开放基金项目"基于专利计量的产学研协同创新主题识别方法研究"(项目编号:Y6H0951001)的研究成果之一。

具产业领域变革的文章中，从管理内涵上看，会聚/融合指至少两个原来不同的学科、技术、市场或产业之间的边界模糊，即原来明显的边界消失。从不同的层面上对应科学的会聚/融合(学科的交叉)、技术会聚/融合(技术交叉)、市场会聚/融合(市场交叉)和产业会聚/融合(产业交叉)。

早期研究[5-8]普遍将会聚与融合视为等同，尤其在电子通信、信息技术和电子产业发展中技术会聚和产业会聚显著相关，但两者仍然存在细微的差异，如表 1 和图 1 所示，即涉及对象(客体)的运动方式有差异[9]。Curran 等[9]对产业层面的会聚与融合概念进行区分，大多数情况下产业融合与产业会聚是可以相互替换的，两者的区别在于：产业会聚指的是产业融合发展成为新的领域(例如保健品和功能性食品产业，既不能代替营养产业需求，也不能满足药物治疗的需求)，产业融合则是产业发展衍生为新产业或形成子分支，以代替现有产业结构(例如智能手机产业融合了相机、手机和电脑等产品)。随后，Curran[3]提出技术融合和会聚在多数情况下是可以通用的，但在分析中也需要有所区分，两者均可以表示两个及两个以上科学、技术、市场或产业中不相关的领域边界呈现模糊的现象，通过会聚/融合，在原有部分的基础上在同一个点衍生出新的技术分支。随着各个领域之间越来越多技术的相互替代和相关，融合推动了合作、许可、专利保护或发表论文等行为的产生。因此，技术融合发生的过程实质是现有技术的替代(Substitution)与多种技术互补(Complementary)的结果[10]。作为不相关的并列技术的对照，技术融合是在描述不同产业和不同工具生产发展到不同阶段而普遍使用共性技术的过程[4]，是将先前多种相对独立的现有技术进行交融的过程，它与跨学科研究、跨产业创新密不可分。早期的技术会聚/融合现象表现在融合型产品的产生以及产业结构转型，其中技术融合代表了不同创新的现有技术突破[11]，而技术会聚被广义界定为两种以上的核心技术创新整合为一个不同于现有技术的新方向[12]。

表 1 产业与技术层面会聚与融合概念区分
(整理自文献[9])

	概念	说明
产业	产业会聚 (Industry Convergence)	产业从现有离散分布扩展到一个新的领域的过程。
	产业融合 (Industry Fusion)	多个产业开始融合兼并，形成至少一个共同产业的过程。
技术	技术会聚 (Technology Convergence)	两种以上技术向一个新的方向发展的过程。
	技术融合 (Technology Fusion)	两种以上技术在同一个位置合并成一项或多项新的技术。

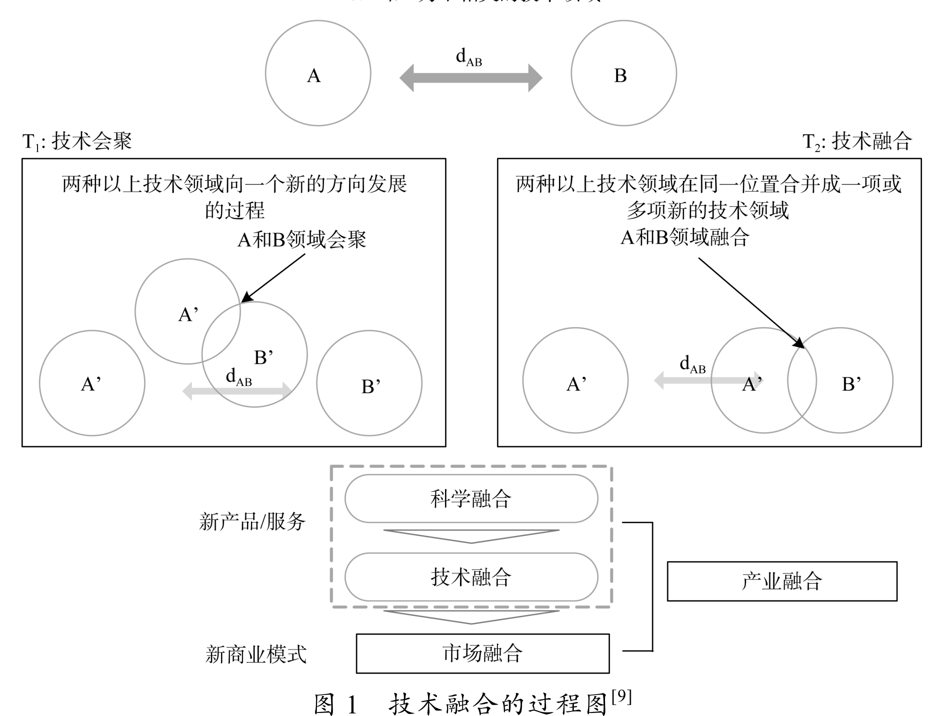


图 1 技术融合的过程图[9]

技术融合作为衡量未来创新技术的重要途径，在研发领域中，技术融合被认为是研发机构提升竞争力的重要策略，对实际产业结构变革重组产生显著的影响力[13]。因此，技术融合往往与产业相关，由科学、技术与市场需求共同驱动，换句话说，大多数情况下技术或产业融合得益于学科领域之间的交叉重叠。Hacklin[14]提出技术融合发生在知识与学科融合、技术融合、市场/应用融合以及产业融合4个不同层面，如表2所示。

表2 不同层面融合分析方法与数据来源[15-16]

阶段	来源	研究方法	数据使用来源
学科融合	科学论文	论文合著关系 共词/共类/共被引分析 期刊主题分析 NPL引文分析	SCI/SCOPUS SciFinder PASTAT(NPL)
技术融合	专利	专利权人共现 SIC和IPC共现 共引分析 IPC共现	专利局专利数据 SciFinder PATSTAT
产品/应用融合	新闻	产品发布 用户分析	公司数据 专家面谈
产业融合	专利、公司与产业信息	SIC和IPC共现 投入产出分析 产品组合 战略联盟 兼并	专利数据 公司数据 Factiva 新闻媒体

2.1 学科融合

随着科学研究的相互引用，知识轨迹密集重叠，不同学科之间逐渐形成紧密的研究合作，知识溢出效应(Knowledge Spillover)开始促进创新活动。在此背景下，Pennings 等[17]提出早期的技术融合指的是具有不同知识基础互不相关的知识溢出，偶然呈现出协同演化的趋势，从而引发学科边界的消融，最终产生产业相关的技术知识。Curran 等[18]认为技术融合的概念描述的是至少两个可辨别的知识单元向着一个方向发展或不同技术、设备或产业合并成为一个统一的整体的过程。学科领域的融合与会聚也被称为“学科会聚”，表现为学科的交叉、协同与融合[19-20]。较多学者利用科学文献的共著、共引关系、期刊主题以及专利非专利文献(NPL)的引用作为研究早期技术与科学知识融合的潜在方法[17,21-22]。Meyer[23]利用科学技术发展相关指标来衡量科学技术之间的关系。

2.2 技术融合

不同产业领域之间的技术交互成为跨产业创新的主要来源，随着潜在的技术路径会聚，知识转化为技术，基础性技术知识出现。基于此，美国2001年12月提出并列举了“纳米–生物–信息技术与认知科学会聚技术(The Convergence of Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science, NBIC)”[24]。Hacklin[14]认为技术融合阶段代表从知识会聚向潜在技术创新的过渡过程，允许产业内部知识溢出来催生新的技术组合。为衡量潜在的技术融合，利用专利数据研究共同专利申请、交叉和共类分析以及专利引文中的知识溢出成为热点。基于专利分析开展的技术融合相关研究，早期主要致力于大量运用专利数据测量技术知识流，专利可以反映技术发展演化，技术领域间知识流动越活跃，专利技术层面的融合就越具有活力。

2.3 市场/应用融合

从市场角度，技术融合可以打破企业创新活动中存在的路径依赖，不仅可以创造机会开发新技术，也是推动企业市场导向转变的重要驱动力。Yoffie[25]发现数字时代的技术融合是通过半导体、计算机、通信和其他类似的电子产品融合汇聚形成交叉重叠的数字技术产业。Hacklin[14]认为市场/应用技术融合阶段代表从技术会聚到新价值创造的转变过程，所创造的新价值将超过技术的原有价值。Hacklin 等[26]还提出技术融合推动新应用、产品或服务的会聚，并在更大范围为消费者提供更多价值形式和细分市场。

2.4 产业融合

从产业角度，技术融合培育企业在多个产业领域的合作，有助于重构产业结构。随着产业范式的变革，具有替代性的新产业将替代旧产业形成竞争性融合，将从不同的产业中吸纳资源和能力形成合作性的新市场，例如手机制造商和软件制造商最初都被认为是不太相关的产业，随着产业的融合发展，直接性的竞争冲突带来手机软件行业的发展。Katz[27]认为技术融合在不同产业融合中发挥重要作用，通过整合互补性的知识池(Knowledge Pool)推动技术和产业集群发展。Hacklin[14]认为产业技术融合阶段代表了应用融合转向产业边界变化，企业通过新兴产业融合建立新的竞争格局。Curran 等[18]界定产业会聚是指两个以上产业之间的界限逐渐模糊发生交融的现象。

3　基于专利数据的技术融合分析方法研究进展

早期技术融合往往是学科领域融合的产物，也是科学研究成果向技术应用的知识溢出的过程，体现了技术创新对基础科学研究的依赖以及相互作用。因此，科学论文和专利文献作为研究科学与技术关联融合的切入点，技术术语共现、引用关系的传承有助于揭示技术的知识融合过程以及发展中存在的继承性[28-29]。

技术会聚/融合是由两种及以上的技术元素整合形成的一个具有新功能的新系统或方向，是一种技术演化形式，对于技术管理者或企业决策者来说，分析技术会聚/融合的模式与机制有助于识别关键核心技术和提高机构的技术控制力。目前，研究技术融合主要是为了衡量公司的多元化[30]以及知识/技术的相关性，前者主要是基于案例分析或投入产出分析评估产业融合[31]，后者则是主要基于专利数据分析技术融合。专利文献蕴含技术发展与创新活动中必要的技术和商业知识，在电子、计算机和通讯领域专利技术的驱动作用显著[11]。因此，利用专利数据展开对技术融合的研究有助于识别科学与技术发展整体趋势与演化关系，基于申请与公开的法律状态也比较容易分析演化的时间序列[32]。从方法层面，早期学者利用技术多样性、跨学科交叉、技术扩散(传染病模型)来研究类似的现象[33-35]，后续研究技术融合主要使用文献计量方法[36-38]。

近年的相关研究常常结合专利引文分析与共类分析两种方法共同开展技术融合相关研究，基本分析流程[32]如下：

(1) 采集抽取专利数据的专利分类号和引文信息；

(2) 宏观层面基于引文分析研究技术领域的会聚；

(3) 微观层面基于共类分析研究融合领域中的技术会聚；

(4) 评估预测未来技术会聚的机会与趋势。

本文针对流程中技术融合研究的数据分析方法进行详细的介绍。

3.1　基于专利引文网络分析方法探索技术融合演化路径

专利引文形成网络关系有助于识别知识流动和发展轨迹。基于技术网络中专利的引文关系常被用于分析技术类别之间的关系，专利引文网络分析方法可以用来识别技术融合趋势下不同技术部件的动态演化关系，研究与跟踪网络结构中核心技术在领域中的演化，以及发现不同技术发展阶段形成融合的重要技术。

大量研究认为引文信息帮助人们理解不同技术之间复杂的依存关系以及相互作用[15,39-40]。Kim 等[41]利用专利引文网络动态分析领域技术汇聚的态势，主要研究步骤如下：检索特定技术领域，抽取相关的专利引文信息，剔除不相关的专利；基于 IPC 分类对引文文献按照技术特征进行分类；根据该领域技术发展阶段划分时间窗区间；计算各个时间窗区间引文网络中的接近中心性和中介中心性，分别作为测量技术影响力和扩散能力的指标，以此分析技术融合中的核心专利技术以及演化特征。No 等[42]提出基于专利引文网络分析识别技术融合演化路径的方法和评估中观层面技术跨学科融合度的衡量指标，基于此对技术融合的演化模式进行分类，最后对技术类之间的融合演化路径进行可视化展示(技术融合路径识别见图 2)。

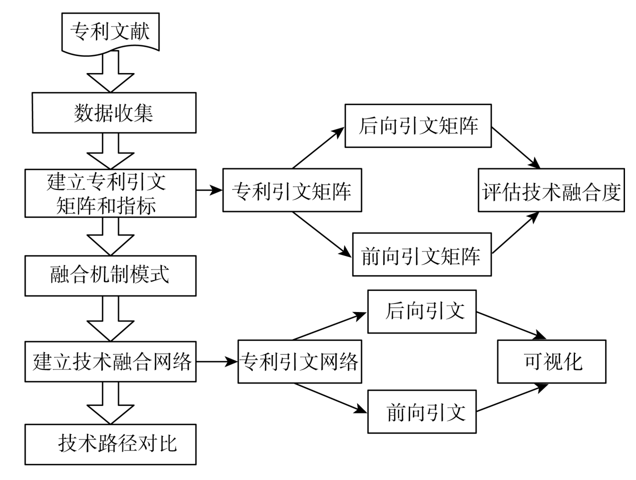


图 2　技术融合路径识别(整理自文献[42])

然而利用引文网络探索技术融合趋势和路径的方法具有以下局限性：首先，专利引文分析主要针对具有较多前向和后向引用的现有技术或产业，而对于具有颠覆性技术创新的新兴产业来说，缺乏专利后向引用，具有一定的局限性。其次，分析的单元和数据规模有所差异，往往需要针对单个技术、部门或产业领域的技术分类的技术融合特征分别开展技术融合分析，目前还较少探讨。

3.2 基于指标分析方法评价技术融合度

技术融合度相关研究主要集中在评估新兴技术融合趋势，分析技术发展路径，定量测量融合程度。技术融合度评价主要涉及学科融合度、技术融合度、产业融合度三个层面：早期学科融合度主要是基于共词、共引、共类、作者合著关系分析方法以及相关改进方法来衡量跨学科的相似性(见表 3)；与学科融合不同，技术融合度更偏向于基于专利数据开展领域实证分析，主要采用包括共类和共引分析方法；与技术融合类似，产业融合度利用 SIC(标准产业分类代码)与 IPC(专利分类代码)共现关系分析产业融合与共性技术。

表 3　评估学科与技术融合的相关指标(整理自文献[15,34,43,46-47])

维度	指标	研究结论	有效性
引文指标	非专利文献引用(NPL)	对科学文献的引用超过产业学科的增长	不显著
	后向引用/前向引用	后向引用：自引率和他引率超过技术领域的增长； 前向引用：不显著	后向引用显著 前向引用待定
	技术生命周期(TCT)	会聚领域的技术创新率高于企业内部知识产生率； 企业内部产生新知识的周期较快(领域差异)	显著(电子领域)
	间接引用	技术领域外的突破性创新呈现增长	显著(电子领域)
学科交叉	学科丰富度	覆盖学科数量	-
	平衡性	学科占比的均衡性	
	差异度	学科间的差异性	
	核心边缘度	网络中核心地位	
	网络分派度	凝聚程度	
	网络密度	联络的紧密程度	
	网络中心势	网络的集中分布趋势	
技术共现	吸收指数	技术集成性	-
	扩散指数	技术扩散范围	
	技术共现强度	-	

Kim 等[32]利用专利共现数量作为技术分类融合强度，将技术覆盖范围作为技术分类融合的覆盖率，综合分析技术融合趋势。利用专利的引文路径跟踪技术发展轨迹，分析区域、产业、企业和科学/技术交互中存在的技术溢出，以便评估技术融合的环境。Karvonen 等[15]分析整理了两种类型文献中引用的非专利文献的类型，基于此分析技术融合分析中常用的专利指标，研究发现后向引用、技术生命周期以及间接引用在技术融合研究中较为显著。此外，许海云等[43]研究整理了学科交叉指标，已有学者借鉴学科交叉测度指标研究技术融合，例如技术多样性[44]和生物多样性[45]指标，其他相关技术融合计量指标如表 4 所示。

3.3 基于专利共类识别技术融合轨道

技术会聚或融合的概念描述了技术交叉的现象，识别技术融合的过程不仅要界定技术领域的层级结构，还需测度技术之间的距离与会聚趋势[49]。因此，大部分学者从文献计量学的角度利用期刊论文或专利数量来确定主要分类中技术融合的程度[50-52]，一般选择采用标准产业分类代码(SIC)、专利分类代码(IPC)、关键词等。相关研究认为利用专利共类分析可以识别技术之间的关系[53-54]，更加直观地发现技术融合现象[55-56]，结合专利分类和产业分类，有助于追踪技术的知识溢出，利用欧洲和美国专利探讨行业之间大量的技术溢出，甚至是识别产业或技术的媒介作用[57]。Ko 等[58]提出基于知识流动的技术融合交叉的分析流程(见图 3)，主要包括以下三个步骤：抽取专利文献的专利分类号与引文信息，在此基础上建立知识流动矩阵；利用专利分类号与产业领域的关联，建立知识流动地图；基于指标分析评估产业知识流动中的技术融合，构建技术融合图。李丫丫等[59]以全球生物芯片产业为例提出基于专利的技术融合分析方法框架：运用 IPC 与

表 4　技术融合计量指标(整理自文献[34,44-48])

	计量指标	定义	公式
宏观	技术融合度	交叉专利数量(多种技术分类)与专利总量(全领域)的比值。	技术融合度=$\frac{交叉专利数量}{专利总量}$
	技术融合广度	利用香农熵计算某一特定领域的技术融合广度, F 值随时间变化而变化。F 值越大, 技术领域融合广度越大。	$Fi=-\sum_{k} P_{ik}\ln P_{ik}$ Fi: 领域 i 的熵; P_{ik}: 领域 k 在领域 i 中占比。
中观	技术交叉融合广度	交叉技术方向涉及技术的广泛程度和强度。	$Wi=\frac{Ui}{UA}(i\in A)$
	技术交叉融合强度		$Ii=\frac{Pi/Ui}{PA/UA}$ $(i\in A)$交叉技术 i 属于产业 A, Ui 和 Pi 代表交叉技术 i 包含的 USPC 数量和专利数量; UA 和 PA 为产业 A 包含的 USPC 数量和专利数量。
	融合强度 (Convergence Intensity)	交叉专利数量占两个来源技术领域专利数量最小值的比例。	$CIA\text{-}B=N_{P_{A-B}}/Min(N_{PA},N_{PB})$ $CIA\text{-}B$: 技术领域 A 与 B 之间的融合强度; $N_{P_{A-B}}$: 融合技术领域专利数量。
	融合广度 (Convergence Coverage)	涉及共类专利技术的数量以衡量特定技术领域融合过程中的扩散程度。	$CC=C/(M\times N)$
微观	吸收指数 (Originality)	通过一项专利其所在分类之外的专利的情况来测度技术的原创性。	$OI=1-\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{N_i}{N}\right)^2$ k 为观测专利引用文献的专利所属的不同技术领域的个数; N_i 为属于 i 技术领域的被引专利个数; N 为被引专利的总数。
	扩散指数 (Generality)	基于被引量和被引专利的分类分布情况测度技术的通用性。	$GI=1-\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{N_i}{N}\right)^2$ k 为引用观测专利的专利(施引专利)所属的不同技术领域的个数; N_i 为属于 i 技术领域的施引专利个数; N 为施引专利的总数。

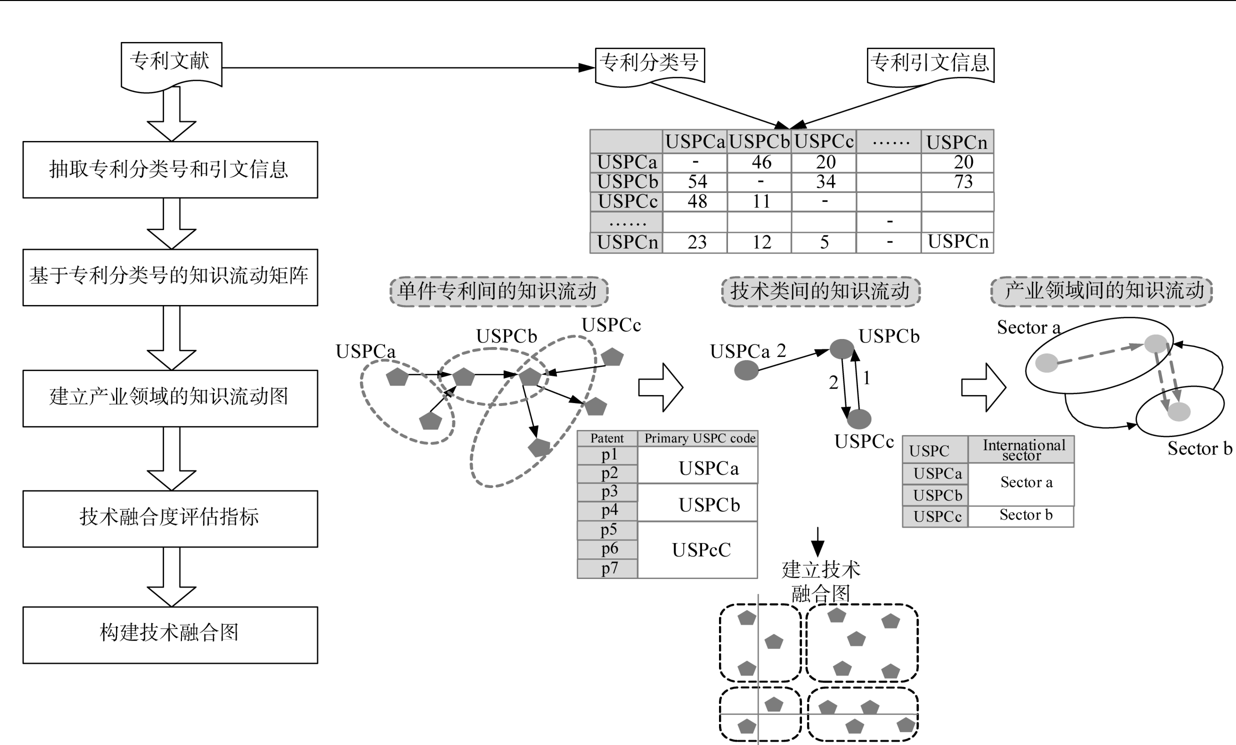


图 3　基于知识流动的技术融合分析流程[58]

ISI-OST-INPI 35 个技术分类对照体系分析生物芯片领域产业技术融合的结构，基于专利共现分析以及技术关联分析，建立技术融合矩阵并评估技术融合紧密程度，最后基于多样性指数揭示产业技术融合动态。

专利共类分析主要从宏观层面识别技术领域的核心融合技术分支，主要局限性在于: IPC 分类号并未覆盖所有的技术领域，随时间变化较大[60]，技术重复分类情况较多，技术融合粒度较粗；较少探讨技术融合中的细分技术特征；目前产业与专利的技术分类标准并不统一，还不能完全一一对应，无法对技术层面融合的技术特征以及实际作用进行分析说明。

3.4　预测技术融合趋势

技术融合分析方法可以利用专利数据预测新兴技术发展趋势，目前评估预测的方法主要包括社会网络分析、指标分析以及主题模型等方法。利用社会网络分析研究专利引文网络，理解技术演化中复杂的交互关系，以预测网络中技术融合关系，例如节点接近性、作者共著网络[61]。主题模型基于语料库中文档频率生成的概率模型以及 LDA 建模，以预测识别语义环境下的技术主题关系[62]。Kim 等[32]建立技术融合强度指标的二维分析图，综合判断与预测技术融合所处的阶段。Lee 等[63]利用 IPC 共现网络在不同时序的权重的链接预测技术融合的模式，而链接预测(Link Prediction)也被认为是一种预测网络中潜在技术节点关系的方法[61,64]。

3.5　主要应用与实证领域

当前科技处于飞速发展的阶段，各种技术不断交叉融合，20 世纪早期的技术会聚/融合持续至今，其应用的技术领域愈加复杂以及多样化，随着发展时间而显现出强烈的融合特征。近年来，技术融合的应用领域逐步增多，例如纳米–生物–信息技术与认知科学会聚技术(NBIC)、遗传学–纳米技术–机器人技术(GNR)、遗传学–机器人–信息技术与纳米工艺(GRIN)、遗传学–机器人–人工智能与纳米技术(GRAIN)等。其次，如表 5 所示，已有很多研究表明技术融合领域在不断增多，包括 RFID、MEMS(微机电系统)、生物信息学、机械电子学、NFF(保健品和功能性食品)、纳米技术、生物技术、ICT(信息通信技术)等。

表 5　技术融合分析方法应用领域

作者(或者机构)	实证领域
OECD[65]	光电子学
Yoffie[25]	ICT 信息通信技术
Roco 和 Bainbridge[24]	NBIC
Shin[66]	数字技术
No 等[42]	纳米生物技术
Kim 等[41]	印刷型电子产品
Curran 等[3]	NFF(保健品和功能性食品) 智能手机产业
Bigliardi 等[67]	电信产业
李丫丫等 [59]	生物芯片产业

4　评述与展望

技术会聚/融合作为技术发展中的重要演化轨迹，许多学者开展了相关理论和方法的研究，主要涉及融合现象的理论(例如技术会聚/融合的概念与内涵)、技术领域/公司/产业层面技术融合的量化实证研究(例如基于专利/论文数据技术融合方法研究)。本文针对基于专利数据的技术融合研究方法进行详细调研，主要包括引文分析、专利指标以及专利共类等方法，如表 6 所示。

表 6　基于专利数据的技术融合分析方法对比

方法	主要思路	应用场景	优势	当前不足	改进方向
引文分析	探索技术融合演化路径	识别科学与技术发展整体趋势与演化关系	易于分析技术演化的时间序列	不适用于新兴技术产业或颠覆性技术	
专利指标	评价技术融合度	确定主要分类中技术融合的程度	有助于评估与预测未来技术融合趋势	无法对技术层面融合的技术特征以及实际作用进行分析说明	与其他方法相结合的优化方法的适用性
专利共类	识别技术融合轨道和技术交叉趋势	界定技术领域的层级结构，可识别技术之间的关系	快速直观地发现技术融合现象	IPC 覆盖技术领域有限，技术融合粒度较粗	

(1) 专利视角下的技术融合研究方法重点探讨技术层面知识/技术的相关性与交叉程度，它的优势在于可以揭示技术关系网络的全貌，评估与预测学科与技术融合发展整体趋势以及演化关系，快速直观地辨别

出技术融合的变化。专利数据有助于识别技术领域交叉和新兴技术潜在演化路径, 目前方法层面仍存在一定的局限性: 基于分类体系的技术类粒度较粗和重复分类, 难以识别技术主题层面的融合交叉; 多种专利引文指标可以识别评估产业发展中的重要技术, 揭示宏观科学技术会聚与融合趋势, 但专利引文信息的积累不利于新兴或颠覆性技术融合的研究; 目前利用专利指标评估融合环境下的技术发展的方法, 不适用于衡量细分的技术特征, 尤其缺乏评估语义层面的技术主题融合的指标, 而基于技术多样性和聚合性的指标研究也比较少, 未来采用语义 TRIZ 方法进行主题识别[68-70]来研究技术融合将有可能获得突破。目前主要解决方案是与其他分析方法相结合以优化技术融合方法的适用范围, 未来研究优化的空间还很大。

(2) 从应用场景上来说, 技术会聚/融合演化路径相关的研究还有待加强, 新的分析方法与思路逐步多样化, 未来优化拓展分析方法以识别新兴技术主题, 这对于识别早期的技术会聚/融合有一定的借鉴意义, 也为未来深入技术主题融合研究提供了研究思路与方法。此外, 还有学者提出技术路线图的应用从传统的 R&D 管理拓展到技术会聚的路径识别[71-73], 有助于技术融合的创新决策, 优势在于集成技术发展趋势和专家预测, 同时对于挖掘技术、产品以及市场的关系以及规划未来战略发展具有指导作用。

(3) 技术融合现有研究的内容还有待拓展更新, 例如并未对技术融合和会聚的分析方法进行区分, 而专利视角上技术融合研究鲜少关注专利与产品市场的关联, 目前还没有较好的方法可以将专利与产品市场融合进行匹配识别。市场融合度指标(例如产品组合和用户分析)为揭示专利在产品市场的作用提供了重要思路, 未来可以从专利市场组合的角度去考虑机构技术融合问题。现实中, 技术会聚或融合演化交互受大量复杂因素的影响, 例如技术市场(科学技术交互)、产品市场(技术应用交互)、早期技术供应端与后期应用需求端的融合发展等方向, 都将有助于探索研究技术会聚/融合。

参考文献:

[1] Nemet G F, Johnson E. Do Important Inventions Benefit from Knowledge Originating in Other Technological Domains?[J]. Research Policy, 2012, 41(1): 190-200.

[2] Hacklin F, Battistini B, Krogh G V. Strategic Choices in Converging Industries[J]. MIT Sloan Management Review, 2013, 55(1): 65-73.

[3] Curran C S. The Anticipation of Converging Industries [M]. Springer, 2013.

[4] Rosenberg N. Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910 [J]. The Journal of Economic History, 1963, 23(4): 414-443.

[5] Kodama F. Technology Fusion and the New R&D[J]. Journal of Product Innovation Management, 1993, 10(4): 353-354.

[6] Bierly P, Chakrabarti A K. Managing Through Industry Fusion[A]//Brockhoff K, Chakrabarti A K, Hauschildt J. The Dynamics of Innovation[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 1999: 7-26.

[7] Fujimoto M, Miyazaki K, Tunzelmann N V. Technological Fusion and Telemedicine in Japanese Companies [J]. Technovation, 2000, 20(4): 169-187.

[8] Bierly P E, Chakrabarti A. Dynamic Knowledge Strategies and Industry Fusion [J]. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2001, 3: 31-48.

[9] Curran C S, Leker J. Patent Indicators for Monitoring Convergence-Examples from NFF and ICT[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2001, 78(2): 256-273.

[10] Lei D T. Industry Evolution and Competence Development: the Imperatives of Technological Conergence[J]. International Journal of Technology Management, 2000, 19(7-8): 699-738.

[11] Kodama F. Emerging Patterns of Innovation: Sources of Japan's Technological Edge[J]. R&D Management, 1996, 26(2): 179-181.

[12] Borés C, Saurina C, Torres R. Technological Convergence: A Strategic Perspective[J]. Technovation, 2003, 23(1): 1-13.

[13] Dolata U. Technological Innovations and Sectoral Change: Transformative Capacity, Adaptability, Patterns of Change: An Analytical Framework[J]. Research Policy, 2009, 38(6): 1066-1076.

[14] Hacklin F. Management of Convergence in Innovation – Strategies and Capabilities for Value Creation Beyond Blurring Industry Boundaries[M]. Physica-Verlag GmbH Heidelberg, 2010.

[15] Karvonen M, Kässi T. Patent Citations as a Tool for Analyzing the Early Stages of Convergence[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2013, 80(6): 1094-1107.

[16] Choi J Y, Jeong S, Kim K. A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea[J]. Sustainability, 2015, 7(9): 11546-11569.

[17] Pennings J M, Puranam P. Market Convergence & Firm Strategy: Towards a Systematic Analysis[C]//Proceedings of Organisation Science Winter Conference. 2000. http://faculty.fuqua.duke.edu/oswc/2000/papers/wednesday/JohannesPennings.doc.

[18] Curran C S, Bröring S, Leker J. Anticipating Converging Industries Using Publicly Available Data[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2010, 77(3): 385-395.

[19] 米黑尔·罗科, 威廉·班布里奇. 聚合四大科技, 提高人类能力[M]. 蔡曙山, 王志栋, 周允程等译. 北京: 清华大学出版社, 2010. (Roco M C, Baibridge W S. Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science [M]. Translated by Cai Shushan, Wang Zhidong, Zhou Yuncheng, et al. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.)

[20] 孙孟新, 栾春娟. 会聚科学的测度及启示[J]. 科技导报, 2013, 31(21): 64-68. (Sun Mengxin, Luan Chunjuan. Measurement of the Convergence of Science and Its Policy Implication[J]. Science and Technological Review, 2013, 31(21): 64-68.)

[21] Callaert J, Looy B V, Verbeek A, et al. Traces of Prior Art: An Analysis of Non-Patent References Found in Patent Documents[J]. Scientometrics, 2006, 69(1): 3-20.

[22] Nagaoka S. Assessing the R&D Management of a Firm in Terms of Speed and Science Linkage: Evidence from the US Patents[J]. Journal of Economics & Management Strategy, 2007, 16(1): 129-156.

[23] Meyer M. Does Science Push Technology? Patents Citing Scientific Literature[J]. Research Policy, 2000, 29(3): 409-434.

[24] Roco M C, Bainbridge W S. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating from the Nanoscale[J]. Journal of Nanoparticle Research, 2002, 4(4): 281-295.

[25] Yoffie D B. Competing in the Age of Digital Convergence[J]. California Management Review, 1996, 38(4): 31-53.

[26] Hacklin F, Marxt C, Fahrni F. Coevolutionary Cycles of Convergence: An Extrapolation from the ICT Industry[J]. Technological Forecast Social Change, 2009, 76(6): 723-736.

[27] Katz M L. Remarks on the Economic Implications of Convergence[J]. Industrial & Corporate Change, 1996, 5(4): 1079-1095.

[28] Jaffe A B, Trajtenberg M, Henderson R, et al. Geographic Location of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citation[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1993, 108: 577-598.

[29] Narin F, Kimberly S H, Olivastro D. The Increasing Linkage Between US Technology and Science[J]. Research Policy, 1997, 26(3): 317-330.

[30] Fan J P H, Lang L H P. The Measurement of Relatedness: An Application to Corporate Diversification[J]. The Journal of Business, 2000, 73(4): 629-660.

[31] Xing W, Ye X, Kui L. Measuring Convergence of China's ICT Industry: An Input-Output Analysis [J]. Telecommunication Policy, 2011, 35(4): 301-313.

[32] Kim M S, Kim C. On a Patent Analysis Method for Technological Convergence [J]. Social and Behavioral Sciences, 2012, 40: 657-663.

[33] Rafols I, Meyer M. How Cross-Disciplinary is Bionanotechnology? Explorations in the Specialty of Molecular Motors[J]. Scientometrics, 2007, 70(3): 633-650.

[34] Porter A L, Chubin D E. An Indicator of Cross-Disciplinary Research[J]. Scientometrics, 1985, 8(3-4): 161-176.

[35] Morillo F, Bordons M, Gómez I. An Approach to Interdisciplinarity Through Bibliometric Indicators[J]. Scientometrics, 2001, 51(1): 203-222.

[36] Pavitt K. Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory[J]. Research Policy, 1984, 13(6): 343-373.

[37] Souitaris V. Technological Trajectories as Moderators of Firm Level Determinants of Innovations[J]. Research Policy, 2002, 31(6): 877-898.

[38] Hall B, Jaffe A, Trajtenber M. The NBER Patent-Citations Data File: Lessons, Insights, and Methodological Tools[R]. NBER Working Paper Series. MIT Press, 2002.

[39] Han Y, Park Y. Patent Network Analysis of Inter-Industrial Knowledge Flows: The Case of Korea Between Traditional and Emerging Industries[J]. World Patent Information, 2006, 28(3): 235-247.

[40] Allarakhia M, Walsh S. Analyzing and Organizing Nanotechnology Development: Application of the Institutional Analysis Development Framework to Nanotechnology Consortia[J]. Technovation, 2012, 32(3-4): 216-226.

[41] Kim E, Cho Y, Kim W. Dynamic Patterns of Technological Convergence in Printed Electronics Technologies: Patent Citation Network[J]. Scientometrics, 2014, 98(2): 975-998.

[42] No H J, Park Y. Trajectory Patterns of Technology Fusion: Trend Analysis and Taxonomical Grouping in

Nanobiotechnology[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2010, 77(1): 63-75.

[43] 许海云, 尹春晓, 郭婷, 等. 学科交叉研究综述[J]. 图书情报工作, 2015, 59(5): 119-127. (Xu Haiyun, Yin Chunxiao, Guo Ting, et al. Interdisciplinary Research Review[J]. Library and Information Service, 2015, 59(5): 119-127.)

[44] Rafols I, Meyer M. Diversity and Network Coherence as Indicators of Interdisciplinarity: Case Studies in Bionanoscience [J]. Scientometrics, 2010, 82(2): 263-287.

[45] Stirling A. A General Framework for Analysing Diversity in Science, Technology and Society[J]. Journal of the Royal Society Interface, 2007, 4(15): 707-719.

[46] Porter A L, Cohen A S, Roessner J D, et al. Measuring Researcher Interdisciplinarity[J]. Scientometrics, 2007,72(1): 117-147.

[47] Trajtenberg M, Henderson R, Jaffe A. University Versus Corporate Patents: A Window on the Basicness of Invention [J]. Economics of Innovation and New Technology, 1997, 5(1): 19-50.

[48] 张静. 基于专利分析的技术融合特征研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017. (Zhang Jing. The Research on the Technology Fusion Based on the Patent Analysis[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2017.)

[49] Roepke S, Moehrle M G. Sequencing the Evolution of Technologies in a System-Oriented Way: The Concept of Technology-DNA[J]. Journal of Engineering and Technology Management, 2014, 32: 110-128.

[50] Hullmann A, Meyer M. Publications and Patents in Nanotechnology: An Overview of Previous Studies and the State of the Art[J]. Scientometrics, 2003, 58(3): 507-527.

[51] Miyazaki K, Isam N. Nanotechnology Systems of Innovation: An Analysis of Industry and Academia Research Activities[J]. Technovation, 2007, 27(11): 661-675.

[52] Takeda Y, Mae S, Kajikawa Y, et al. Nanobiotechnology as an Emerging Research Domain from Nanotechnology: A Bibliometric Approach [J]. Scientometrics, 2009, 80(1): 25-40.

[53] Choi C, Kim S, Park Y. A Patent-Based Cross Impact Analysis for Quantitative Estimation of Technological Impact: The Case of Information and Communication Technology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2007, 74(8): 1296-1314.

[54] Park H, Yoon J. Assessing Coreness and Intermediarity of Technology Sectors Using Patent Co-Classification Analysis: The Case of Korean National R&D[J]. Scientometrics, 2014, 98(2): 853-890.

[55] Verspagen B. Measuring Intersectoral Technology Spillovers Estimates from the European and US Patent Office Databases[J]. Economic Systems Research, 1997, 9(1): 47-65.

[56] Patel P, Pavitt K. The Continuing, Widespread (and Neglected) Importance of Improvements in Mechanical Technologies[J]. Research Policy, 1994, 23(5): 533-545.

[57] Lim H, Park Y. Identification of Technological Knowledge Intermediaries[J]. Scientometrics, 2010, 84(3): 543-561.

[58] Ko N, Yoon J, Seo W. Analyzing Interdisciplinarity of Technology Fusion Using Knowledge Flows of Patents[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(4): 1955-1963.

[59] 李丫丫, 赵玉林. 基于专利的技术融合分析方法及其应用[J]. 科学学研究, 2016, 34(2): 203-211. (Li Yaya, Zhao Yulin. Method and Application of Technological Convergence Analysis Based on Patents[J]. Studies in Science of Science, 2016, 34(2): 203-211.)

[60] Caviggioli F. Technology Fusion: Identification and Analysis of Drivers of Technology Convergence Using Patent Data[J]. Technovation, 2016, 55-56: 22-32.

[61] Nowell D L, Kleinberg J. The Link Prediction Problem for Social Networks[J]. Journal of Association for Information Science and Technology, 2007, 58(7): 1019-1031.

[62] Blei D M, Ng A Y, Jordan M I. Latent Dirichlet Allocation[J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3: 993-1022.

[63] Lee W S, Han E J, Sohn S Y. Predicting the Pattern of Technology Convergence Using Big-Data Technology on Large-Scale Triadic Patents[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2015, 100: 317-329.

[64] Hasan M A, Zaki M J. A Survey of Link Prediction in Social Networks, Social Network Data Analytics[M]. Springer, 2011.

[65] OECD. Technology Fusion: A Path to Innovation[M]. OECD, 1993.

[66] Shin D H. Technology Convergence and Regulatory Challenge: A Case from Korean Digital Media Broadcasting [J]. Info-The Journal of Policy, Regulation and Strategy for Telecommunications, 2005, 7(3): 47-55.

[67] Bigliardi B, Dormio A L, Galati F. The Adoption of Open Innovation Within the Tele-Communication Industry[J]. European Journal of Innovation Management, 2012, 15(1): 27-54.

[68] Kim Y G, Suh J H, Park S C. Visualization of Patent Analysis for Emerging Technology [J]. Expert System with Applications, 2008, 34(3): 1804-1812.

[69] 方曙, 胡正银, 庞弘燊, 等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究[J]. 图书情报工作, 2011, 55(22): 42-46. (Fang

Shu, Hu Zhengyin, Pang Hongshen, et al. Study on the Method of Analyzing Technology Evolution Based on Patent Documents[J]. Library and Information Service, 2011, 55(22): 42-46.)
[70] Chang P L, Wu C C, Leu H J. Using Patent Analyses to Monitor the Technological Trends in an Emerging Field of Technology: A Case of Carbon Nanotube Field Emission Display[J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19.
[71] Yasunaga Y, Watanabe M, Korenaga M. Application of Technology Roadmaps to Governmental Innovation Policy for Promoting Technology Convergence [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2009, 76(1): 61-79.
[72] Abe H, Ashiki T, Suzuki A, et al. Integrating Business Modeling and Roadmapping Methods——The Innovation Support Technology (IST) Approach [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2009, 76(1): 80-90.
[73] Tierney R, Hermina W, Walsh S. The Pharmaceutical Technology Landscape: A New Form of Technology Roadmapping [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2013, 80(2): 194-211.

作者贡献声明:

方曙: 提出研究思路和命题, 论文修订与定稿;
李姝影: 资料收集, 文献内容分析, 论文撰写。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突关系。

收稿日期: 2017-06-02
收修改稿日期: 2017-07-10

Review of Data Analysis Methods in Measuring Technology Fusion and Trend

Li Shuying　Fang Shu
(Chengdu Library and Information Center, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: [**Objective**] This paper reviews literature on technology convergence/fusion, aiming to explore research progress in the field and provide reference for further studies. [**Coverage**] We retrieved 73 papers in Chinese and English from the Web of Science (WOS), CNKI and other databases using the keywords “Technology Convergence” or “Technology Fusion”. [**Methods**] We reviewed the concepts of technology convergence/fusion, and related data analysis methods. [**Results**] We found the number of research on technology convergence/fusion was increasing. Their data analysis methods used patents as indicators, illustrating evolution path with patent citation network, and establishing fusion track with co-classification analysis. [**Limitations**] More research is needed to compare the hybrid methods. [**Conclusions**] The data analysis methods for technology convergence/fusion require much optimization, which leaves many knowledge gaps to be filled.

Keywords: Technology Fusion　Technology Convergence　Patent Analysis